

JC09 Rec'd PCT/PTO 31 MAY 2005

Anmelder: Barco Control Rooms GmbH
Karlsruhe, DE

5

Helligkeits- und Farbregelung eines Projektionsapparates

10

Die Erfindung betrifft die Helligkeits- und Farbregelung bei Projektionsapparaten. Projektionsapparate dienen zum Projizieren eines Bildes auf einen Projektionsschirm. Die Erfindung richtet sich auf Projektionsapparate, die einen pixelweise steuerbaren Bildgeber zum Darstellen des Bildes in einem verkleinerten Maßstab, eine Beleuchtungseinheit zum Beleuchten des Bildgebers und eine ein Projektionsobjektiv umfassende Projektionseinrichtung zum vergrößerten Abbilden des von dem Bildgeber dargestellten Bildes auf den Projektionsschirm umfassen, wobei die Beleuchtungseinheit zur Realisierung der zeitsequentiellen additiven Farbmischung ein zeitlich variables Farbfilter - im folgenden dynamisches Farbfilter genannt - zur Erzeugung primärer Farben enthält. In der Regel ist der Bildgeber und/oder die Projektionseinrichtung zum Einstellen der Lage des projizierten Bildes auf dem Projektionsschirm in einer mit Justageelementen einstellbaren Position in oder an dem Projektionsapparat befestigt.

Man unterscheidet zwischen Auflicht- und Rückprojektionsapparaten. Ein Unterschied zwischen Auflichtprojektoren und Rückprojektionssystemen besteht darin, daß in Rückprojektionsapparaten zumeist weitere optische Elemente wie Umlenkspiegel und Projektionsschirme enthalten sind, die in Auflichtprojektoren nicht verwendet werden.

35

Sowohl Auflicht- als auch Rückprojektionsapparate dienen zum Anzeigen eines Bildes auf einem großflächigen Projektionsschirm. Der Bildgeber kann dabei ein Durchlicht-
5 Bildgeber sein, also ein Bildgeber, der transmissiv von einer Beleuchtungseinrichtung zum Beleuchten des Bildgebers durchleuchtet wird, oder ein reflektierender Bildgeber, der von der Beleuchtungseinrichtung beleuchtet wird. Nach dem Stand der Technik werden beispielsweise Durchlicht-
10 Flüssigkristall-Bildgeber oder auch reflektive Polysilicium- oder Flüssigkristall-Bildgeber oder DMDs (Trademark of Texas Instruments Inc., Digital-Micromirror-Device) verwendet.

15 Eine Beleuchtungseinheit zum Beleuchten des Bildgebers bzw. Durchleuchten des Durchlicht-Bildgebers umfaßt in der Regel eine Lichtquelle, einen Reflektor und eine Kondensoroptik mit einer oder mehreren Kondensorlinsen zum Ausleuchten des Bildgebers. Auf die Kondensoroptik kann
20 bei Verwendung eines fokussierenden, z.B. elliptischen oder komplexeren Lampenreflektors verzichtet werden. Ferner können zusätzliche Kondensoren oder Lichtdurchmischungseinrichtungen, beispielsweise zum optimalen Ausleuchten eines rechteckigen Bildformates, vorgesehen
25 sein. Die Projektionseinrichtung bzw. die Beleuchtungseinheit ist entweder in den Projektionsapparat integriert oder an diesem angesetzt. Ein Projektionsapparat ist somit eine abgeschlossene, vollständige Einheit zum Darstellen eines Bildes, wobei in einem Rückprojektions-
30 apparat ein Bildschirm zum Betrachten des Bildes integriert ist.

Insbesondere Rückprojektionsmodule finden eine breite Anwendung in Fällen, in denen ein komplexes Bild, beispielsweise bestehend aus verschiedenen Video- oder Com-
35

puterbildern, großflächig angezeigt werden soll. Verbreitete Einsatzbereiche für solche Rückprojektionsapparate sind Bildwände, die von mehreren Personen gleichzeitig betrachtet werden. Insbesondere in der modernen Leitzwartentechnik ist die Großbildrückprojektion verbreitet.

Wenn das angezeigte Bild bei gegebenen Qualitätsanforderungen eine bestimmte Größe und Komplexität überschreiten soll, ist dies nicht mehr mit einem einzigen Rückprojektionsmodul möglich. In solchen Fällen wird das Bild aus Teilbildern, die jeweils von einem Rückprojektionsmodul angezeigt werden, zusammengesetzt. Das jeweils von einem Rückprojektionsmodul angezeigte Bild ist in diesem Fall ein Teilbild des von allen Rückprojektionsmodulen zusammen angezeigten Gesamtbildes der Bildwand.

Nach dem Stand der Technik ist es möglich, eine große Anzahl von Rückprojektionsmodulen in einem modularen Aufbau einer Projektionsbildwand aneinanderzureihen und/oder übereinander zu stapeln, um ein aus vielen einzelnen Teilbildern zusammengesetztes Großbild darzustellen. Die Anzahl der Rückprojektionsmodule, die zu einer Projektionsbildwand zusammengesetzt werden, beträgt bis zu 150 oder mehr.

Weitere Einzelheiten zu Rückprojektionsmodulen sind dem Dokument EP 0 756 720 B1 zu entnehmen, auf das hiermit bezug genommen wird.

Viele kommerziell erhältliche Projektionsapparate, beispielsweise Video-Projektionseinrichtungen, benutzen separate Kanäle für jede der drei Primärfarben. Ein solches System erfordert für jede Primärfarbe einen Bildgeber und optische Strecken, die pixelgenau auf den Schirm konvergieren müssen. Neuartige Projektionsapparate ver-

wenden nur einen Bildgeber auf Basis der zeitsequentiellen additiven Farbmischung, wobei das gesamte Bild in drei einfarbige Teilbilder bezüglich der Grundfarben rot, grün und blau zerlegt wird. Der Bildgeber wird sequen-
5 tiell mit den Primärfarben beleuchtet. Dabei werden die darzustellenden Bilddaten entsprechend der gerade den Bildgeber erreichenden Farbe an den Bildgeber geleitet. Das Auge fügt die farbigen Teilbilder zu einem einzigen Vollfarbenbild zusammen. Das Auge fügt ebenfalls aufeinanderfolgende Videobilder und Videoteilbilder zu einem
10 Vollbewegungsbild zusammen.

Ein solches System erfordert eine Einrichtung zum sequentiellen Beleuchten des Bildgebers mit primären Farben.
15 Die einfachste Einrichtung eines hierzu geeigneten dynamischen Farbfilters ist ein sich drehendes Farbrad, das dazu dient, die gerade gewünschte Farbe aus dem weißen Spektrum einer Beleuchtungseinheit auszufiltern.

20 Derartige Farbräder zum Ändern der Farbe des von der Projektionslampe ausgekoppelten Lichtes werden im allgemeinen aus dichroitischen Filtern hergestellt. Die Filter weisen aber herstellungsbedingt Abweichungen in ihrer spektralen Filtercharakteristik auf, die sich darin
25 äußern, daß sich die Kantenlagen der Filter unterscheiden. Infolge dessen gibt es Unterschiede in der Wahrnehmung der Grundfarben sowie der Mischfarben.

Die derzeit im Zusammenhang mit der zeitsequentiellen
30 Bilderzeugung verwendeten Bildgeber sind sogenannte Digital-Micromirror-Devices, die beispielsweise in dem Patent US 5,079,544 beschrieben sind. Sie umfassen eine Anordnung kleiner bewegbarer Spiegel zum Ablenken eines Lichtstrahls entweder zu der Projektionslinse (ein) oder weg
35 von der Projektionslinse (aus). Durch schnelles Ein- und

Ausschalten der von den Spiegeln dargestellten Pixel kann eine Grauskala erzielt werden. Die Verwendung von DMDs zum Digitalisieren von Licht ist auch unter der Bezeichnung DLP (Digital Light Processing) bekannt. Ein DLP-Projektionssystem umfaßt eine Lichtquelle, optische Elemente, Farbfilter, eine digitale Steuerung und Formatierung, ein DMD und eine Projektionslinse.

An Projektionsgeräte, insbesondere an modular aus mehreren Projektionsgeräten aufgebaute Bildwände, werden in vielen Fällen hohe Anforderungen gestellt, die aufgrund folgender technischer Ursachen nach dem Stand der Technik nur unzureichend erfüllt werden können:

- Die in den unterschiedlichen Projektionsapparaten verwendeten Lampen, bei denen es sich in vielen Anwendungen um Hochleistungslampen handelt, haben eine unterschiedliche Grundhelligkeit. Dies erfordert einen aufwendigen Abgleich der einzelnen Projektionsgeräte, um eine einheitliche Darstellung auf einer Bildwand zu erzielen.
- Über die Lebensdauer der Lampen ändert sich der für den Projektionsapparat ausnutzbare Lichtstrom der Lampen. Dieser Alterungsprozeß ist zudem lampenabhängig. Dies erfordert einen wiederholten Helligkeitsabgleich der Projektionsapparate.
- Die Toleranzen der Lampen können zu unterschiedlichen Ausleuchtungsverteilungen auf dem Bildgeber führen, die sich auch während des Alterungsprozesses der Lampen verändern können.
- Die spektrale Zusammensetzung des von den Lampen emittierten Lichtes zeigt Toleranzen, die einen Farbabgleich der Projektionsgeräte erfordern.
- Die spektrale Zusammensetzung des von den Lampen emittierten Lichtes ändert sich über die Lebenszeit der

Lampe. Dies erfordert einen wiederholten Farbabgleich der Projektionsapparate.

- Je nach Typ der verwendeten Entladungslampe wird der Lichtstrom zur Stabilisierung der Lage des Entladungs-
5 bogens zeitlich moduliert. Dies führt im Zusammenhang mit der zeitsequentiellen Farbmischung und auch der digitalisierten Erzeugung von Helligkeitsstufen (Pulse Code Modulation eines DMD) zu Interferenzen. Um dadurch entstehende Bildartefakte zu unterdrücken, muß
10 die Zeitabhängigkeit des Lichtstroms überwacht werden.
- Auch Herstellungstoleranzen der sonstigen optischen Komponenten führen zu Schwankungen des Lichtflusses auf der Projektionsfläche, was einen Helligkeitsab-
15 gleich der Projektionsapparate erforderlich macht.

Zur Lösung dieser hohen technischen Anforderungen werden nach dem Stand der Technik verschiedene, aufwendige Methoden eingesetzt, die jedoch die genannten Probleme nicht vollständig lösen:

- 20 - Die Lampen werden in hohem Maße selektiert, um minimale, nicht weiter unterschreitbare Fertigungstoleranzen zu überwinden. Dies ist aufwendig und mit hohen Kosten verbunden.
- Während der Installation eines Projektionsapparates
25 bzw. einer Bildwand und/oder in festen Serviceintervallen wird ein Abgleich (Helligkeit und/oder Farbe) durchgeführt. Dabei wird die Helligkeitsverteilung auf dem Bildschirm vermessen und/oder ein Farbabgleich mittels einer Vermessung der Primärfarben und des
30 Weißpunktes auf dem Bildschirm durchgeführt. Dies ist aufwendig und kostenintensiv, erfordert geschultes Personal und bedingt eine Unterbrechung des laufenden Betriebes. Zwischen den Serviceintervallen kann sich die Bildqualität verschlechtern.

- 5 - Im Falle eines DMDs als Bildgeber wird gemäß dem Dokument US 5,796,508 ein Sensor zum Nachweis des im Off-Zustandes reflektierten Lichtes verwendet. Dieser Nachweis des Lichtes im Off-Zustand mittels eines Sensors muß über einen Eingriff auf den Bildinhalt erzwungen werden. Durch das Erzwingen des Off-Zustandes kommt es zu einer Veränderung bzw. zu Störungen des sichtbaren Bildes, so daß kein den Bildinhalt nicht störender Dauerbetrieb möglich ist.
- 10 - Es wird ein Sensor außerhalb des optischen Pfades zum Nachweis von Streulicht eingesetzt. Der Nachweis von Streulicht hat jedoch den Nachteil einer nicht ausreichenden Korrelation zwischen dem Meßsignal und der tatsächlichen Bildhelligkeit. Aufgrund des so entstehenden Kalibrierfehlers zeigen die Module einer Bildwand nach wie vor sichtbare Helligkeitsunterschiede.
- 15 - Die Berücksichtigung der auf Erfahrungswerten beruhenden mittleren Änderung des Lichtstromes während der Betriebsdauer. Die Abweichung einzelner Lampen von einer mittleren zeitabhängigen Lichtstromänderung sind jedoch so groß, daß sie ohne individuelle Korrektur zu sichtbaren Bildartefakten führen.
- 20 - Eine Bestimmung des Lichtstromes durch eine Messung der Lampenleistung mittels elektrischer Messung von Lampenstrom und Lampenspannung. Aber nur ein kleiner Teil der verfügbaren Lampentreiber erlaubt eine derartige elektrische Messung, und die elektrische Leistung der Lampen ist nicht vollständig mit dem resultierenden Lichtfluß des Projektors korreliert.
- 25 - Eine Bestimmung des Lichtstromes durch eine Messung der Lampenleistung mittels elektrischer Messung von Lampenstrom und Lampenspannung. Aber nur ein kleiner Teil der verfügbaren Lampentreiber erlaubt eine derartige elektrische Messung, und die elektrische Leistung der Lampen ist nicht vollständig mit dem resultierenden Lichtfluß des Projektors korreliert.
- 30 - Eine manuelle Eingabe einer zu berücksichtigenden zeitabhängigen Lichtstromänderung durch die Benutzer. Dies erfordert jedoch eine entsprechende Schulung des Benutzers und die Aufschaltung spezieller Bildinhalte, wodurch der Dauerbetrieb gestört wird.

- Eine Farbkorrektur durch Regelung der Lampenleistung gemäß dem Dokument WO 95/11572 zur Stabilisierung der optischen Leistung des Projektors. Eine derartige Regelung der Lampenleistung bedeutet, daß die Lampe mit variierender elektrischer Leistung betrieben würde. Dies zieht bei den üblicherweise verwendeten Hochleistungs-Entladungslampen eine unerwünschte Veränderung des Farbtones und eine Verkürzung der Lebensdauer der Lampe nach sich, was sich insbesondere für den Dauereinsatz in Bildwänden nachteilig auswirkt.

Aus dem Dokument DE 198 19 245 C1 ist ein Videoprojektor bekannt, bei dem zwischen der Lichtquelle und dem Bildgeber zwei Umlenkspiegel und zwischen den Umlenkspiegeln eine stabförmige Lichtmischeinrichtung angeordnet sind. Er umfaßt ein dynamisches Farbfilter zur zeitsequentiellen Mischung primärer Farben. Ein Helligkeits- oder Farb-
abgleich ist bei der bekannten Vorrichtung nicht vorgesehen.

Das Dokument US 6,422,704 B1 offenbart einen Projektor mit drei dichroitischen Spiegeln und jeweils einem zugehörigen Bildgeber. Für den Projektorabgleich kann ein halbdurchlässiger Spiegel in den Strahlengang zwischen Lampe und Bildgeber geschwenkt werden, der von der Bildwand reflektiertes Licht, das durch das Projektionsobjektiv und die Bildgeber in Richtung zur Lampe zurückgestreut wird, auf einen Sensor auskoppelt, der die Intensität dieses reflektierten Lichts für Einstellzwecke nutzt. Die so gewonnenen Meßdaten bedürfen aufgrund des mehrfachen Durchlaufens der optischen Komponenten aufwendiger numerischer Korrekturen, so daß unter Berücksichtigung üblicher Fertigungstoleranzen nur eine äußerst eingeschränkte Meßgenauigkeit erzielt wird. Ferner muß das Reflexionsverhalten des Bildschirms bekannt sein, so daß

eine Verwendung beliebiger Projektionsschirme nicht möglich ist. Darüber hinaus kann das bekannte Verfahren nicht während des laufenden Betriebs des Projektors durchgeführt werden.

5

In dem Dokument WO 95/11572 ist ein Projektor mit einem Farbrad beschrieben. Ein Signalgenerator steuert den Lampenstrom, wobei dieser mit der Position der Farbsegmente des Farbrades synchronisiert wird. Der Abgleich der Lampenströme erfolgt manuell durch den Nutzer. Es handelt sich also um eine einmalige Einstellung. Eine kontinuierliche Überwachung und Regelung des Lichtstromes der Farbsegmente ist nicht vorgesehen.

15 Der Erfindung liegt unter Berücksichtigung dieses Standes der Technik die Aufgabe zugrunde, eine zufriedenstellende Lösung für den Helligkeits- und/oder Farbabgleich bei eingangs genannten Projektionsapparaten durchzuführen. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Projektionsapparat mit den Merkmalen des beigefügten unabhängigen Vorrichtungsanspruch bzw. durch ein Verfahren mit den Merkmalen des beigefügten unabhängigen Verfahrensanspruch gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung mit zugehörigen Zeichnungen.

Ein erfindungsgemäßer Projektionsapparat zum Projizieren eines Bildes auf einen Projektionsschirm umfaßt also
30 einen pixelweise steuerbaren Bildgeber zum Darstellen des Bildes in einem verkleinerten Maßstab, eine Beleuchtungseinheit zum Beleuchten des Bildgebers und eine ein Projektionsobjektiv umfassende Projektionseinrichtung zum vergrößerten Abbilden des von dem Bildgeber dargestellten
35 Bildes auf den Projektionsschirm, wobei die Beleuchtungs-

einheit ein dynamisches Farbfilter zur Erzeugung primärer
Farben umfaßt, und er weist erfindungsgemäß die Besonder-
heit auf, daß er ein optisches Auskoppellement zum Aus-
koppeln eines Teils des von der Beleuchtungseinheit zur
5 Beleuchtung des Bildgebers erzeugten Lichtstromes, einen
Sensor zum Messen der Intensität des von dem optischen
Auskoppellement ausgekoppelten Lichtes, wobei die von
dem Sensor gemessene Intensität ein Maß für die Intensität
der Beleuchtung des Bildgebers ist, und eine Regel-
10 einrichtung umfaßt, mittels der die Helligkeit und/oder
die Farbe des projizierten Bildes durch Ansteuerung des
Bildgebers oder durch Steuerung der Beleuchtungs-Licht-
menge in Abhängigkeit von dem Signal des Sensors geregelt
wird, wobei das Auskoppellement Licht aus dem Strahlen-
15 gang auf dem Weg von der Beleuchtungseinheit zum Bild-
geber auskoppelt.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Regeln der Helligkeit
und/oder der Farbe des projizierten Bildes eines Projek-
20 tionsapparates zum Projizieren des Bildes auf einen Pro-
jektionsschirm umfassend einen pixelweise steuerbaren
Bildgeber zum Darstellen des Bildes in einem verkleinerten
Maßstab, eine Beleuchtungseinheit zum Beleuchten des
Bildgebers und eine ein Projektionsobjektiv umfassende
25 Projektionseinrichtung zum vergrößerten Abbilden des von
dem Bildgeber dargestellten Bildes auf den Projektions-
schirm, wobei die Beleuchtungseinheit ein dynamisches
Farbfilter zur sequentiellen Erzeugung primärer Farben
umfaßt, weist die Besonderheit auf, daß mittels eines
30 optischen Auskoppellements ein Teil des von der Beleuch-
tungseinheit zur Beleuchtung des Bildgebers erzeugten
Lichtstromes ausgekoppelt wird, durch einen Sensor die
Intensität des von dem optischen Auskoppellement ausge-
koppelten Lichtes gemessen wird, wobei die von dem Sensor
35 gemessene Intensität ein Maß für die Intensität der

Beleuchtung des Bildgebers ist, und mittels einer Regelungseinrichtung in Abhängigkeit von dem Signal des Sensors der Bildgeber geregelt angesteuert oder die Beleuchtungslichtmenge geregelt wird, wobei mittels des Auskoppel-
5 elements Licht für den Sensor aus dem Strahlengang auf dem Weg von der Beleuchtungseinheit zum Bildgeber ausgekoppelt wird.

Mittels der Erfindung ist eine zuverlässige, individuelle
10 Toleranzen und Alterungsprozesse berücksichtigende Regelung der Helligkeit und/oder der Farbe des projizierten Bildes in relativ einfacher Weise möglich. Die von dem Sensor ermittelte Intensität wird dem digitalen Bildprozessor zugeführt, der diese Werte bei der Ansteuerung des
15 Bildgebers berücksichtigt, um eine gleichmäßige Helligkeit bzw. Farbe zu erzielen.

Besondere praktische Vorteile der Erfindung ergeben sich daraus, daß die Messung kontinuierlich durchgeführt werden kann, so daß ein Regelkreis mit einer kontinuierlichen Regelung ermöglicht wird. Ferner ist es vorteilhaft, daß keine zusätzlichen Meßgeräte oder Einsätze geschulten Personals erforderlich sind, weil der Abgleich automatisch im laufenden Betrieb erfolgen kann. Aus diesem
20 Grund ist auch keine Störung oder Unterbrechung des laufenden Betriebes erforderlich, und auch bei der Verwendung von Beleuchtungseinrichtungen mit einem Doppellampenmodul zur Gewährleistung des unterbrechungsfreien Betriebs im Fall des Ausfalls einer Lampe durch Umschalten auf die zweite Lampe ist der Abgleich sofort möglich.
25
30

Ein besonderer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß mittels der Regeleinrichtung das projizierte Bild im laufenden Betrieb des Projektionsapparates regelbar ist,
35 d.h. unabhängig vom Bildinhalt, ohne Unterbrechung oder

- Störung des laufenden Betriebes, ohne daß ein Testbild projiziert werden muß und daß eine Messung des Lichtes nur auf der Beleuchtungsseite des Bildgebers erforderlich ist. Dieser Vorteil wird insbesondere erzielt, wenn das
- 5 Auskoppelement auch während der Projektion eines Bildes auf einen Projektionsschirm im Beleuchtungspfad angeordnet ist bzw. wenn es ständig im Beleuchtungspfad angeordnet ist.
- 10 Mit der Erfindung werden somit Ziele erreicht, um die die Fachwelt sich schon lange bemüht hat. Um dabei besonders gute Ergebnisse erzielen zu können, werden bevorzugt die nachfolgenden Maßnahmen einzeln oder in Kombination miteinander eingesetzt.
- 15 Als Bildgeber bei der zeitsequentiellen additiven Farbmischung wird bevorzugt ein Digital-Micromirror-Device (DMD) verwendet. Es sind aber auch andere, beispielsweise eingangs genannte Bildgeber im Rahmen der Erfindung ver-
- 20 wendbar.
- Das dynamische Filter zur zeitsequentiellen Erzeugung von Primärfarben ist vorteilhafterweise ein Farbrad. Andere, derzeit oder künftig verfügbare entsprechende Einrichtungen können jedoch im Rahmen der Erfindung ebenfalls
- 25 verwendet werden.
- Zur Erzielung einer homogenen oder homogenisierten Ausleuchtung ist es vorteilhaft, wenn der Projektionsapparat
- 30 eine räumliche Lichtmischeinrichtung zum Ausgleichen örtlicher Unterschiede in der Helligkeitsverteilung umfaßt. Bevorzugt kommt hierbei eine räumliche Lichtmischeinrichtung zum Einsatz, die sich in Ausbreitungsrichtung des Lichtes erstreckt, insbesondere ein Lichtmischstab.
- 35 Lichtmischstäbe sind im Stand der Technik bekannt.

Bekannte Ausführungsformen umfassen z.B. Hohlmischstäbe (siehe z.B. US 5,625,738) und Vollmischstäbe (siehe z.B. DE 10103099 A1).

5 Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen bestehen darin, daß das Auskoppellement im Beleuchtungspfad zwischen der Beleuchtungseinrichtung und dem Bildgeber angeordnet ist, vorzugsweise zwischen dem Ausgang der räumlichen Licht-
10 mischeinrichtung und dem Bildgeber. Hier ist die günstigste Stelle zur Gewinnung der erforderlichen Information über die Intensität und spektrale Zusammensetzung des Lichtes.

Das Auskoppellement kann auf verschiedene Weise realisiert werden. Eine vorteilhafte Ausführungsform ist ein
15 teildurchlässiger, vorzugsweise farbneutraler Spiegel, der zur Vermeidung hoher Lichtverluste vorteilhafterweise weniger als 5%, vorzugsweise weniger als 2% des Lichtes zu dem Sensor auskoppelt.

20 Der Sensor kann ein einfacher Sensor sein, der ein bloßes Helligkeitssignal liefert, das eine integrale Information über die Beleuchtung des Bildgebers beinhaltet. In anderen Ausführungsformen kann zur Gewinnung einer Information über die Homogenität der Ausleuchtung des Bildgebers
25 ein zweidimensional ortsauflösender Sensor bzw. zur Gewinnung einer spektralen Information der Sensor ein spektral auflösender Sensor sein. Alle drei Sensorausführungen können mit dem dynamischen Farbfilter zur Trennung
30 der Primärfarbanteile synchronisiert sein.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Darin beschriebene Besonderheiten können einzeln oder in

Kombination miteinander eingesetzt werden, um bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung zu schaffen. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung von Komponenten eines erfindungsgemäßen Projektionsapparates,
- 5 Fig. 2 Einzelheiten zu Fig. 1,
- Fig. 3 eine Abwandlung zu Fig. 2,
- Fig. 4 ein TIR-Prisma ohne Rückreflektion,
- Fig. 5 ein TIR-Prisma mit Rückreflektion,
- Fig. 6 ein Farbrad,
- 10 Fig. 7 den zeitlichen Verlauf der Sensorsignale zu Fig. 6,
- Fig. 8 Sensor-Steuerpulse zu Fig. 7,
- Fig. 9 den zeitlichen Verlauf der Intensität einer Entladungslampe mit Stabilisierungspuls,
- 15 Fig. 10 den zeitlichen Verlauf des Sensorsignals zu Fig. 9 und
- Fig. 11 Sensor-Steuerpulse zu Fig. 10.

Fig. 1 zeigt die optischen Komponenten eines erfindungsgemäßen Projektionsapparates 1. Er umfaßt eine Beleuchtungseinheit 2 mit einer Lampe 3 als Lichtquelle, vorzugsweise einer Entladungslampe, und einer Kondensoroptik 4. Im Strahlengang folgt ein dynamisches Farbfilter 5 in Form eines Farbrades 6 und eine räumliche Lichtmischeinrichtung 7 in Form eines sich in Ausbreitungsrichtung des Lichtes erstreckenden Lichtmischstabes 8. Das am Lichtmischstab 8 austretende Licht wird mittels einer Abbildungsoptik 9, die auch als Relay-Optik bezeichnet wird, in die Ausleuchtungsebene 10 eines Bildgebers 11 abgebildet.

20

25

30

Das von dem Bildgeber 11 erzeugte Bild wird mittels eines Projektionsobjektives 12 einer Projektionseinrichtung vergrößert auf einen nicht dargestellten Projektions-
schirm abgebildet, projiziert also das vom Bildgeber 11
5 in Transmission oder Reflektion erzeugte Bild auf einen nicht dargestellten Projektionsschirm. In einem bevorzugten Anwendungsfall der Erfindung ist der Projektionsapparat 1 ein Rückprojektionsapparat, und das von dem Projektionsobjektiv 12 projizierte Bild ist ein Teilbild einer
10 mehrere Projektionsapparate oder Rückprojektionsapparate enthaltenden Bildwand.

Das projizierte Bild wird mittels des Verfahrens der zeitsequentiellen Mischung aus aufeinanderfolgenden monochromen Teilbildern in den Primärfarben rot, grün und
15 blau aufgebaut. Die Sequenz kann auch ein viertes Teilbild in schwarz/weiß enthalten, daß zur Erhöhung der Bildhelligkeit zugemischt wird. Die Sequenz der Teilbilder folgt in einer ausreichend hohen Geschwindigkeit, so
20 daß das Auge dem Farbwechsel nicht folgen kann und eine physiologische Farbmischung stattfindet.

Das Farbrad 6 dient dazu, aus dem weißen Licht der Lampe 3 die Primärfarben rot, grün und blau zur Ausleuchtung
25 des Bildgebers 11 zu erzeugen. Der Bildgeber 11 ist vorzugsweise ein DMD. Bei entsprechender Synchronisierung kann der Bildgeber 11 die monochromen Teilbilder erzeugen, die von dem Auge des Betrachters des projizierten Bildes zusammengesetzt werden.

30

Das Licht der Lampe 3 wird mittels der Kondensoroptik 4 auf den Eintritt des Lichtmischstabes 8 fokussiert. Das sich drehende Farbrad 6 weist unterschiedlich farbige
35 Segmente in den Primärfarben auf, die je nach Drehstellung des Farbrades 6 die Spektralanteile der Lampe 3 ent-

sprechend dem gerade im Strahlengang befindlichen Farb-
filter transmittieren. Der Lichtmischstab 8 sorgt für
eine Homogenisierung der Ausleuchtung, und die Abbil-
dungsoptik 9 bildet die Lichtverteilung am Ausgang des
5 Lichtmischstabes 8 auf den Bildgeber 11 ab.

Die Grundhelligkeit des projizierten Bildes, d.h. die
Helligkeit eines Bildes bei vollweißem Bildinhalt, hängt
von der Leuchtdichte am Ort des Bildgebers 11 ab. Auf-
10 grund der eingangs genannten Probleme ist es daher
gewünscht, die Leuchtdichte am Ort des Bildgebers 11 zu
kennen. Ferner kommt es durch Alterungsprozesse der Lampe
3 zu Verschiebungen der Intensitätsverhältnisse zwischen
den Spektralanteilen der Primärfarben. Infolge dessen
15 ändert sich der Farbton der weißen Mischfarbe im Laufe
der Zeit, d.h. über einen Zeitraum von mehreren Stunden
oder Tagen. Eine Messung der spektralen Zusammensetzung
des Lichtes und eine daraus abgeleitete Korrektur der
Farbmischung, so daß effektiv keine Verschiebung des
20 Weißpunktes feststellbar ist, wird daher ebenfalls ange-
strebt. Beide Aspekte können mit der erfindungsgemäßen
Ausbildung eines Projektionsapparates 1 erzielt werden.

Hierzu ist erfindungsgemäß ein optisches Auskoppel-
25 13 zum Auskoppeln eines Teils des von der Beleuchtungs-
einheit 3 zur Beleuchtung des Bildgebers 11 erzeugten
Lichtstromes vorgesehen, wobei mittels des Auskoppel-
elements Licht für den Sensor 15 aus dem Strahlengang auf
dem Weg von der Beleuchtungseinheit 2 zum Bildgeber 11
30 ausgekoppelt wird. Vorzugsweise ist das Auskoppel-
element 13 im Beleuchtungspfad zwischen der Lampe 3 und dem Bild-
geber 11 angeordnet, insbesondere zwischen dem Ausgang
der räumlichen Lichtmischeinrichtung 7 und dem Bildgeber
11. In Fig. 1 ist das Auskoppel-
35 lässiger, vorzugsweise farbneutraler Spiegel 14, der vor-

zugsweise weniger als 5% und bevorzugt weniger als 2% des Lichtes auskoppelt. Der Transmissionsgrad ist also vorzugsweise kleiner als 5% und bevorzugt kleiner als 2% und die Reflektivität vorzugsweise größer als 95% und bevorzugt größer als 98%.

Das von dem Spiegel 14 ausgekoppelte Licht wird von einem Sensor 15 gemessen, so daß die von dem Sensor 15 gemessene Intensität ein Maß für die Intensität der Beleuchtung des Bildgebers 11 ist. Das Signal des Sensors 15 kann also einer Regeleinrichtung zugeführt werden, mittels der die Helligkeit des projizierten Bildes durch Ansteuerung des Bildgebers 11 in Abhängigkeit von dem Signal des Sensor 15 geregelt wird. Wenn der Sensor 15 auf die jeweils aktiven Farbsegmente des Farbrades 6 synchronisiert wird, läßt sich auch die Intensität der Primärfarben messen. Diese Information steht dann der Elektronik des Projektionsapparates 1 zur Verfügung, und mittels geeigneter Algorithmen läßt sich aus dem Meßsignal des Sensors 15 eine Korrektur der Farbmischung durchführen, so daß bei einer Änderung der spektralen Zusammensetzung des von der Lampe 3 emittierten Lichtes effektiv keine Verschiebung des Weißpunktes des projizierten Bildes feststellbar ist.

Mit der Regeleinrichtung kann jedoch nicht nur der Bildgeber 11 angesteuert werden. Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, daß die Beleuchtungs-Lichtmenge auf andere Weise von der Regeleinrichtung in Abhängigkeit von dem Signal des Sensors 15 geregelt wird. Hierfür kommen alle bekannten und geeigneten Methoden in Betracht.

Eine besonders vorteilhafte Ausbildung zur Regelung der Beleuchtungs-Lichtmenge kann darin bestehen, daß ein variabler Intensitätsabschwächer verwendet wird, der in

unmittelbarer Nähe der Fokalabene eines fokussierenden
Lampenreflektors angeordnet ist. Weitere Einzelheiten
dieser Ausbildung sind in der gleichzeitig eingereichten
internationalen Patentanmeldung der Anmelderin (Titel
5 "Helligkeitsregelung eines Projektionsapparates",
Anwaltszeichen SEC 109/0A/WO) beschrieben, die insoweit
vollinhaltlich in Bezug genommen wird.

Um eine Grundeinstellung oder Grundkalibrierung des Pro-
10 jektionsapparates 1 zu erzielen, kann vorgesehen sein,
daß Ausgangswerte der spektralen Eigenschaften der
Beleuchtungsquelle bzw. der Lampe 3 der Beleuchtungsein-
heit, des dynamischen Farbfilters 5 und des Sensors 15
sowie gegebenenfalls der räumlichen Lichtmischeinrichtung
15 7, des Abbildungsobjektives 9 und des optischen Aus-
koppелеlements 13 vermessen und von der Regeleinrichtung
berücksichtigt werden. Eine solche Vermessung von Aus-
gangswerten kann beispielsweise bei der Installation des
Projektionsapparates 1, während einer Servicemaßnahme
20 oder im Falle eines Lampentausches durchgeführt werden.

Um eine möglichst hohe Korrelation der räumlichen Licht-
verteilung am Sensor 15 und der Ausleuchtungsebene 10 des
Bildgebers 11 zu erzielen, wird nach einem vorteilhaften
25 Merkmal vorgeschlagen, daß der Sensor 15 in einer opti-
schen Ebene angeordnet ist, die zu der Ausleuchtungsebene
10 des Bildgebers 11 korrespondiert, d.h. daß die Aus-
leuchtungsebene 10 des Bildgebers 11 und die Ausleuch-
tungsebene 16 des Sensors 15 optisch korrespondieren,
30 wobei sie nach einem zusätzlichen bevorzugten Merkmal das
Abbild des Ausgangs der räumlichen Lichtmischeinrichtung
7 enthalten.

Die einfachste Lösung zur Realisierung dieser Merkmale
35 bestünde darin, den Sensor in gleicher optischer Entfer-

nung zu dem Spiegel 14 zu positionieren wie den Bildgeber 11. Um einen kompakteren Aufbau des Projektionsapparates 1 zu erzielen, ist nach einem zusätzlichen vorteilhaften Merkmal eine Sensoroptik 17 vorgesehen. Sie hat eine
5 positive Brechkraft und erzeugt eine verkleinerte Abbildung des Ausgangs des Lichtmischstabes 8 bei verkürzter optischer Lauflänge. Ferner ist es dadurch möglich, die Bildgröße des Lichtmischstabes 8 auf die Größe des Sensors 15 anzupassen, so daß auf dem Sensor 15 ein verkleinertes Abbild des Ausleuchtungsmusters des Bildgebers 11
10 erzeugt wird.

Die Figur 2 zeigt Einzelheiten des Strahlenganges aus Figur 1. Wenn der Sensor 2 ein einfacher, unstrukturierter, ein Helligkeitssignal liefernder Sensor ist, kann
15 mit ihm die integrale Helligkeit und integrale spektrale Zusammensetzung des Lichtes vermessen werden. Wird dagegen ein ortsauflösender Sensor 15, beispielsweise ein CCD verwendet, kann auch die Homogenität der Ausleuchtung,
20 d.h. die Homogenität der Helligkeit des auf den Bildschirm projizierten Bildes vermessen werden. Gemäß einer anderen oder zusätzlichen Ausbildung kann der Sensor 15 auch ein spektral auflösender Sensor sein.

25 In Figur 3 ist ein dem Figur 2. entsprechender Aufbau dargestellt, der zusätzlich eine den Sensor 15 umgebende Abschirmung 18 umfaßt. Um eine störungsfreie Funktionsweise des Sensors 15 und der aus seinen Signalen abgeleiteten Regelung des Bildgebers 11 zu ermöglichen, ist es
30 vorteilhaft, wenn das von dem Sensor 15 nachgewiesene Signal weitestgehend unabhängig von äußeren Einflüssen wie zum Beispiel Umgebungslicht ist. Dies läßt sich durch die Abschirmung 18 erreichen. Daneben wird auch die Unabhängigkeit von dem momentan projizierten Bildinhalt
35 gefordert.

Dies ist allerdings nicht automatisch erfüllt, wie anhand der Figuren 4 und 5 am Beispiel eines Bildgebers 11 in Form eines DMD mit einem TIR-Prisma 20 dargestellt ist.

5 TIR steht für "Total Internal Reflection"; zu näheren Einzelheiten wird auf das Dokument US 5,552,922 verwiesen. Das TIR-Prisma 20 dient der einfachen räumlichen Trennung zwischen einfallendem Licht und vom DMD reflektierten Licht. Die Trennung beider Komponenten erfolgt
10 dabei durch die im unteren Prisma auftretende Totalreflexion. Das einfallende Licht wird total reflektiert und das vom DMD reflektierte Licht erfüllt die Bedingung zur Totalreflexion gerade nicht mehr. Es transmittiert zur Kompensation optische Aberrationen durch das zweite
15 Teilprisma.

Der Durchgang des ON-Zustandes 21 durch die beiden Grenzflächen am Luftspalt zwischen beiden Prismenhälften ist allerdings trotz Antireflexionsbeschichtung stets mit
20 Fresnellischen Verlusten verbunden. Dies bedeutet, daß ein Teil des Lichts des ON-Zustandes 21 zurück in Richtung des Lichtmischstabes 8 reflektiert wird. Für den Off-Zustand 22 ist dagegen dieser Effekt weitaus schwächer, und zwar aus geometrischen Gründen und aufgrund der Tat-
25 sache, daß die auftretenden Winkel zwischen Lichtrichtung und Grenzfläche deutlich weiter von dem Winkel der Totalreflexion entfernt sind als für den ON-Zustand 21. Die Fresnellischen Verluste sind also geringer.

30 Die rückreflektierte Lichtmenge hängt also vom Bildinhalt ab; bei einem dunklen Bild wird weniger Licht zurückreflektiert und bei einem hellen Bild mehr. Vergleichbare Rückreflexionen 19 können auch bei anderen Bauarten von Bildgebern, beispielsweise bei Flüssigkristallanzeigen,
35 auftreten.

Wenn in Figur 3 der Sensor 15 ohne eine vorgeschaltete Sensoroptik 17 in unmittelbarer Nähe hinter dem Spiegel 14 angeordnet wäre, wäre eine Trennung zwischen vorwärts verlaufendem Licht und Rückreflexionen 19 nicht möglich. Die Sensoroptik 17 dient in diesem Fall also nicht nur der Abbildung des Lichtmischstabes 8 auf den Sensor 15, sondern zusammen mit der Abschirmung 18 auch der Unterdrückung von Störungen des Sensors 15 infolge von Rückreflexionen 19 vom Bildgeber 11. Die Rückreflexionen 19 werden dabei durch die Sensoroptik 17 auf eine Stelle außerhalb des Sensors 15 abgebildet und absorbiert.

Bei dem bisher beschriebenen Aufbau eines erfindungsgemäßen Projektionsapparates 1 ergibt sich ein Meßsignal des Sensors 15, das sich synchron zur Rotation des Farbrades 6 ändert. Dies erklärt sich durch die für die Primärfarben unterschiedliche Empfindlichkeit des Sensors 15. Die Figur 6 veranschaulicht ein typisches Farbrad 6 für einen DMD- bzw. DLP-Projektionsapparat mit einer typischen Farbradsequenz rot-grün-weiß-blau. Die Lage des Eingangs des Lichtmischstabes 8 auf dem Farbrad 6 und die Ausleuchtung des Lichtmischstabes 8 sind in Figur 6 ebenfalls veranschaulicht.

Die Farben rot und blau ergeben dabei typischerweise ein schwächeres Signal, weiß das stärkste. Im Übergangsbereich zwischen den einzelnen Segmenten des Farbrades 6 ergibt sich ein Abfall bzw. Anstieg des Signales zum nächsten Signalniveau hin. In Figur 7 ist der Verlauf des Sensorsignals I als Funktion der Zeit t während einer Periode T des Farbrades 6 dargestellt. Die sich dabei ergebende Kantensteilheit hängt von dem optischen Design des Projektionsapparates, d.h. dem Abstand des Farbrades 6 zum Brennpunkt und der Größe des Brennpunkts ab.

Um eine undefinierte Auswertung der Signale des Sensors 15 zu vermeiden, ist es vorteilhaft, wenn der Sensor 15 stets nur während eines Segmentes des Farbrades 6 aktiviert ist, d.h. daß der Sensor 15 mittels eines Taktsignals des dynamischen Farbfilters 5 so gesteuert wird, daß er die zu den Primärfarben und eventuellen farbneutralen Anteilen gehörende Lichtintensitäten getrennt ermittelt. Dies kann in der Weise durchgeführt werden, daß Zeitmeßfenster definiert werden, die den Beitrag aus mehreren Segmenten und aus den Übergangsbereichen unterdrücken. Dies ist durch eine Gate- und Delay-Elektronik möglich, die ihrerseits durch den Taktgeber des Farbrades 6 bzw. des dynamischen Farbfilters 5 synchronisiert wird. Auf diese Weise lassen sich in Figur 8 dargestellte Sensor-Steuerpulse P erzeugen, die synchron zum Auftreten der entsprechenden Farbsegmente verlaufen.

Nach einem weiteren vorteilhaften Merkmal kann vorgesehen sein, daß die Intensität des von der Beleuchtungseinheit 2 erzeugten Lichtes zeitlich veränderlich ist und die Auswertung der Signale des Sensors 15 diese zeitliche Veränderung berücksichtigt oder erfaßt. Eine derartige zeitliche Veränderung der Intensität kann beispielsweise auf einem der Lampe 3 der Beleuchtungseinheit 2 zugeführten Stabilisierungspuls beruhen, so daß die Intensitätsänderung der Lampe 3 aufgrund des Stabilisierungspulses mittels des Sensors 15 erfaßt und in der Regeleinrichtung berücksichtigt wird.

Insbesondere bei Entladungslampen ist es bekannt, mittels des Lampentreibers einen kurzzeitigen Anstieg des Lampenstromes auszulösen. Dies erfolgt typischerweise mit einer Pulsrate von 50 bis 250 Hertz und ist somit in dem projizierten Bild nicht sichtbar. Die Stabilisierungspulse

dienen der Stabilisierung der örtlichen Lage des Entladungsbogens in der Entladungslampe und damit der Stabilisierung der räumlichen Helligkeitsverteilung des projizierten Bildes.

5
Allerdings muß die Dauer der Stabilisierungspulse und ihre Höhe bzw. die von ihnen verursachte Intensitätsänderung der Lampe bei der sequentiellen Bilderzeugung berücksichtigt und korrigiert werden. Bei der Berechnung
10 der Farbmischung muß dieser Parameter dem Bildgeber 15 bzw. dessen Ansteuerelektronik bekannt sein, damit sie berücksichtigt und korrigiert werden können.

In der Praxis stellt sich jedoch zumeist das Problem, daß
15 nur die Dauer der Stabilisierungspulse innerhalb geringer Schwankungsgrenzen eine fest definierte Größe ist. Die durch die Stabilisierungspulse ausgelöste Intensitätsänderung der Lampe 3 unterliegt dagegen größeren produktionstechnischen Schwankungen und zeigt während des Alterungsprozesses einer Lampe 3 eine deutliche Änderung.
20 Daraus resultiert die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Messung der Peakintensität I_{pk} der Lampe 3 bezogen auf die Plateauintensität I_{p1} der Lampe 3 außerhalb eines Stabilisierungspulses.

25
In Figur 9 ist dargestellt, wie sich die Intensität I_L der Lampe 3 beim Anlegen eines Stabilisierungspulses 23 ändert. In Figur 10 ist entsprechend dazu die Änderung des Sensorsignals I veranschaulicht. Dabei wird angenommen, daß der Stabilisierungspuls 23 mit der Drehung des Farbrades 6 synchronisiert ist, so daß der Stabilisierungspuls 23 genau im farbneutralen Weißsegment
30 erscheint. Durch die erhöhte Lichtintensität zeigt das Sensorsignal I an der entsprechenden Stelle eine Überhö-

hung gegenüber dem Signal, das sich ohne Stabilisierungspuls 23 ergeben würde.

Eine kontinuierliche Messung des Verhältnisses I_{pk}/I_{p1} während eines längeren Zeitraums der Alterung der Lampe 3, beispielsweise im Abstand von Stunden oder Tagen, kann nun beispielsweise mittels der Messungen der Sensorsignale I während des Grünsegmentes und während des Stabilisierungspulses 23 erfolgen. Es ergibt sich $I_{pk}/I_{p1} =$
5 $k \cdot I_{\text{Weißpuls}}/I_{\text{grün}}$, wobei die Konstante $k = I_{\text{grün}}/I_{\text{Weiß}}$ einmalig mit den gleichen zeitlichen Meßfenstern, aber ohne Stabilisierungspuls 23 bestimmt wird. Sie enthält die spektrale Empfindlichkeit des Sensors 23 und die spektralen
10 Eigenschaften des Farbrades 6 sowie der restlichen optischen Komponenten.
15

Die auf diese Weise gewonnenen Informationen kann die Regeleinrichtung zum Steuern des Bildgebers 11 zur Erzielung einer gleichmäßigen Helligkeit und/oder eines konstanten Farbortes berücksichtigen. Dies ist gegenüber
20 einer nach dem Stand der Technik bekannten festen Vorgabe eines bestimmten Wertes für den Einfluß des Stabilisierungspulses 23 genauer.

SEC 110/0A/WO

Bezugszeichenliste

- 5 1 Projektionsapparat
2 Beleuchtungseinheit
3 Lampe
4 Kondensoroptik
5 Dynamisches Farbfilter
10 6 Farbrad
7 räumliche Lichtmischeinrichtung
8 Lichtmischstab
9 Abbildungsoptik
10 Ausleuchtungsebene zu 11
15 11 Bildgeber
12 Projektionsobjektiv
13 optisches Auskoppellement
14 Spiegel
15 Sensor
20 16 Ausleuchtungsebene zu 15
17 Sensoroptik
18 Abschirmung
19 Rückreflexionen
20 TIR-Prisma
25 21 ON-Zustand
22 Off-Zustand
23 Stabilisierungspuls
- I Sensorsignal
30 I_L Lampenintensität
 I_{pk} Peakintensität
 I_{pl} Plateauintensität
P Sensor-Steuerpuls
T Periode
35 t Zeit

SEC 110/0A/WO

Ansprüche

5

1. Projektionsapparat (1) zum Projizieren eines Bildes auf einen Projektionsschirm, umfassend
einen pixelweise steuerbaren Bildgeber (11) zum Dar-
stellen des Bildes in einem verkleinerten Maßstab,
eine Beleuchtungseinheit (2) zum Beleuchten des Bild-
gebers (11) und
eine ein Projektionsobjektiv (12) umfassende Projek-
tionseinrichtung zum vergrößerten Abbilden des von
dem Bildgeber (11) dargestellten Bildes auf den Pro-
jektionsschirm, wobei
die Beleuchtungseinheit (2) ein dynamisches Farbfil-
ter (5) zur zeitsequentiellen Mischung primärer Far-
ben umfaßt,
dadurch gekennzeichnet, daß
er ein optisches Auskoppellement (13) zum Auskoppeln
eines Teils des von der Beleuchtungseinheit (2) zur
Beleuchtung des Bildgebers (11) erzeugten Lichtstro-
mes,
einen Sensor (15) zum Messen der Intensität des von
dem optischen Auskoppellement (13) ausgekoppelten
Lichtes, wobei die von dem Sensor (15) gemessene
Intensität ein Maß für die Intensität der Beleuchtung
des Bildgebers (11) ist, und
eine Regeleinrichtung umfaßt, mittels der die Hellig-
keit und/oder die Farbe des projizierten Bildes durch
Ansteuerung des Bildgebers (11) oder durch Steuerung

30

der Beleuchtungs-Lichtmenge in Abhängigkeit von dem Signal (I) des Sensors (15) geregelt wird, wobei das Auskoppелеlement (26) Licht aus dem Strahlengang auf dem Weg von der Beleuchtungseinheit (2) zum Bildgeber (11) auskoppelt.

2. Projektionsapparat (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Bildgeber (11) ein Digital-Micromirror-Device (DMD) ist.
3. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das dynamische Farbfilter (5) ein sich drehendes Farbrad (6) ist.
4. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er eine räumliche Lichtmischeinrichtung (7) zum Ausgleichen örtlicher Unterschiede in der Helligkeitsverteilung umfaßt.
5. Projektionsapparat (1) nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche Lichtmischeinrichtung (7) eine sich in Ausbreitungsrichtung des Lichtes erstreckende Vorrichtung, insbesondere ein Lichtmischstab (8) ist.
6. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Auskoppелеlement (13) auch während der Projektion eines Bildes auf einen Projektionsschirm im Beleuchtungspfad angeordnet ist.
7. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Auskop-

pelelement (13) ständig im Beleuchtungspfad angeordnet ist.

- 5 8. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Auskoppel-
element (13) im Beleuchtungspfad zwischen der
Beleuchtungseinrichtung (2) und dem Bildgeber (11)
angeordnet ist.
- 10 9. Projektionsapparat (1) nach Anspruch 4, dadurch
gekennzeichnet, daß das Auskoppel-
element (13) zwischen dem Ausgang der räumlichen Lichtmischeinrich-
tung (7) und dem Bildgeber (11) angeordnet ist.
- 15 10. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Auskoppel-
element (13) ein teildurchlässiger Spiegel (14) ist.
- 20 11. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß durch das Aus-
koppel-
element (13) weniger als 5%, vorzugsweise weni-
ger als 2% des Lichtes ausgekoppelt wird.
- 25 12. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor
(15) in einer optischen Ebene angeordnet ist, die zu
der Ausleuchtungsebene (10) des Bildgebers (11) kor-
respondiert.
- 30 13. Projektionsapparat (1) nach dem vorhergehenden
Anspruch und Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß
die korrespondierenden Ebenen ein Abbild des Ausgangs
der räumlichen Lichtmischeinrichtung (7) enthalten.

14. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er eine Sensoroptik (17) umfaßt, mittels der auf dem Sensor (15) ein verkleinertes Abbild des Ausleuchtungsmusters des Bildgebers (11) erzeugt wird.
15. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (15) ein Sensor ist, der ein Helligkeitssignal liefert.
16. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (15) ein zweidimensional ortsauflösender Sensor ist.
17. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (15) ein spektral auflösender Sensor ist.
18. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (15) mittels eines Taktsignales des dynamischen Farbfilters (5) so gesteuert wird, daß er die zu den Primärfarben und eventuellen farbneutralen Anteilen gehörenden Lichtintensitäten getrennt ermittelt.
19. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensität (I_L) des von der Beleuchtungseinheit (2) erzeugten Lichtes zeitlich veränderlich ist und die Auswertung der Signale (I) des Sensors (15) diese zeitliche Veränderung berücksichtigt.
20. Projektionsapparat (1) nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die zeitliche

Veränderung der Intensität (I_L) auf einem der Lampe
(3) der Beleuchtungseinheit (2) zugeführten Stabili-
sierungspuls (23) beruht und die Intensitätsänderung
der Lampe (3) aufgrund des Stabilisierungspulses (23)
5 mittels des Sensors (15) erfaßt und berücksichtigt
wird.

21. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er eine den
10 Sensor (15) umgebende Abschirmung (18) umfaßt, mit-
tels der Rückreflexionen (19) vom Bildgeber (11) zu
dem Sensor (15) unterdrückt werden.

22. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er zur Rege-
15 lung der Beleuchtungs-Lichtmenge einen variablen
Intensitätsabschwächer umfaßt, der in unmittelbarer
Nähe der Fokalebene der Kondensoroptik (4) oder der
Fokalebene eines fokussierenden Lampenreflektors
20 angeordnet ist.

23. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der
Regeleinrichtung das projizierte Bild im laufenden
25 Betrieb des Projektionsapparates (1) regelbar ist.

24. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Beleuch-
tungseinheit (2) eine Entladungslampe umfaßt.

30

25. Projektionsapparat (1) nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er ein Rück-
projektionsapparat ist.

26. Bildwand, enthaltend mehrere Projektionsapparate (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

27. Verfahren zum Regeln der Helligkeit und/oder der
5 Farbe des projizierten Bildes eines Projektionsapparates (1) zum Projizieren des Bildes auf einen Projektionsschirm, umfassend
einen pixelweise steuerbaren Bildgeber (11) zum Darstellen des Bildes in einem verkleinerten Maßstab,
10 eine Beleuchtungseinheit (2) zum Beleuchten des Bildgebers (11) und
eine ein Projektionsobjektiv (12) umfassende Projektionseinrichtung zum vergrößerten Abbilden des von dem Bildgeber (11) dargestellten Bildes auf den Projektionsschirm, wobei
15 die Beleuchtungseinheit (2) ein dynamisches Farbfilter (5) zur zeitsequentiellen Mischung primärer Farben umfaßt,
dadurch gekennzeichnet, daß
20 mittels eines optischen Auskoppellements (13) ein Teil des von der Beleuchtungseinheit (2) zur Beleuchtung des Bildgebers (11) erzeugten Lichtstromes ausgekoppelt wird,
durch einen Sensor (15) die Intensität des von dem
25 optischen Auskoppellement (13) ausgekoppelten Lichtes gemessen wird, wobei die von dem Sensor (15) gemessene Intensität ein Maß für die Intensität der Beleuchtung des Bildgebers (11) ist, und
mittels einer Regeleinrichtung in Abhängigkeit von
30 dem Signal (I) des Sensors (15) der Bildgeber (11) geregelt angesteuert oder die Beleuchtungs-Lichtmenge geregelt wird, wobei

mittels des Auskoppелеlements (26) Licht für den Sensor (15) aus dem Strahlengang auf dem Weg von der Beleuchtungseinheit (2) zum Bildgeber (11) ausgekoppelt wird.

5

28. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß es ein Merkmal eines Projektionsapparates (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 25 umfaßt.